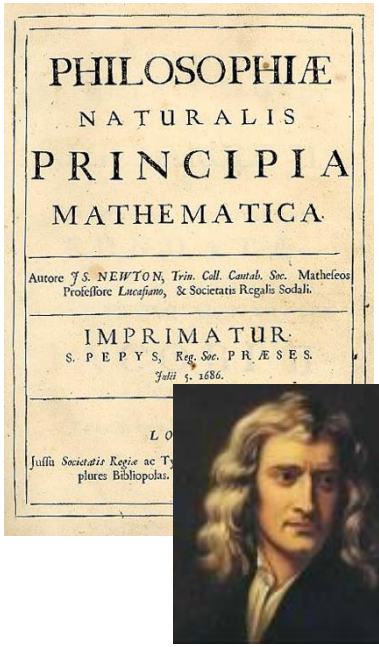


Leggi della Dinamica

La Prima Legge della Dinamica

L'enunciato originale della prima legge di Newton (o *Principio di Inerzia*) è il seguente: ***Ogni corpo persevera nel suo stato di quiete o di moto rettilineo uniforme fino a quando non agisca su di esso una forza risultante diversa da zero.***


PHILOSOPHIÆ
NATURALIS
PRINCIPIA
MATHEMATICA

Autore *J. S. NEWTON, Trin. Coll. Cantab. Soc.* Matheseos Professore *Lucasiano*, & Societatis Regalis Sodali.

IMPRIMATUR
S. PEPYS, *Reg. Soc.* PRÆSES.
Julii 5. 1686.

Riferimenti inerziali



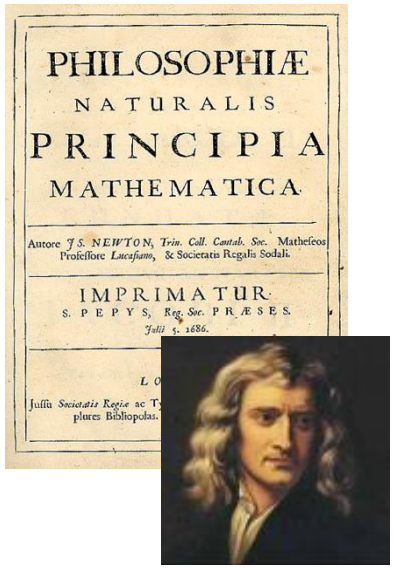
Riferimenti non inerziali



La Seconda Legge della Dinamica

La forza netta agente su un corpo è uguale al prodotto della sua massa m per l'accelerazione $\vec{a}$ assunta dal corpo:

$$\vec{F}_{net} = \sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i = m\vec{a} \quad (1)$$



$\vec{F}_{net} = \sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i$ è il **vettore risultante** dalla somma (sommatoria) di **tutte** le forze agenti sul corpo (forza netta)

Possiamo enunciare la seconda legge anche dicendo che:
L'accelerazione prodotta dall'azione di una forza netta diversa da zero applicata ad un dato corpo è sempre direttamente proporzionale alla forza e inversamente proporzionale alla massa del corpo.

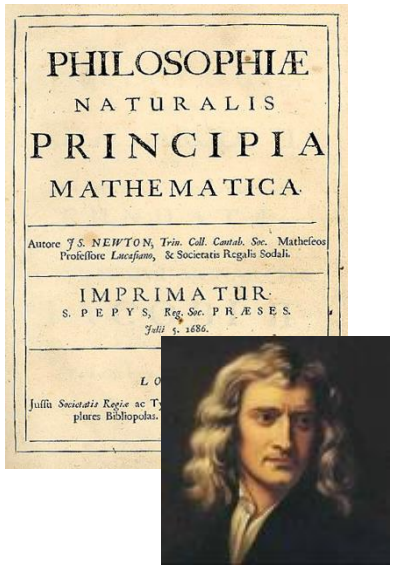
$$\vec{a} = \frac{\vec{F}_{net}}{m}$$



La Seconda Legge della Dinamica

La forza netta agente su un corpo è uguale al prodotto della sua massa m per l'accelerazione $\vec{a}$ assunta dal corpo:

$$\vec{F}_{net} = \sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i = m\vec{a} \quad (1)$$



$\vec{F}_{net} = \sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i$ è il **vettore risultante** dalla somma (sommatoria) di **tutte** le forze agenti sul corpo (forza netta)

L'equazione (1) è **un'equazione vettoriale**. Se ad esempio lavoriamo in un sistema di riferimento bidimensionale, essa può essere scomposta in **due equazioni scalari**, una per ogni componente in coordinate cartesiane:

Somme delle componenti *x* delle forze applicate

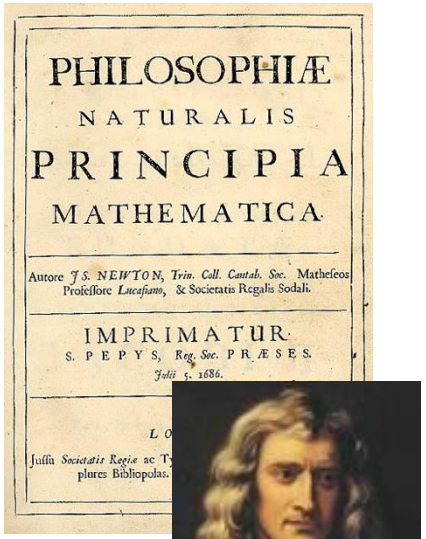
$$\sum_i F_{xi} = ma_x \longrightarrow a_x = \frac{\sum_i F_{xi}}{m}$$

Somme delle componenti *y* delle forze applicate

$$\sum_i F_{yi} = ma_y \longrightarrow a_y = \frac{\sum_i F_{yi}}{m}$$

La Terza Legge della Dinamica

La *terza legge della dinamica* formulata da Newton, conosciuta anche come "*Principio di azione e reazione*", afferma che: «**Ogni volta che un corpo A esercita una forza su un corpo B, il corpo B eserciterà sul corpo A una forza uguale ed opposta**»

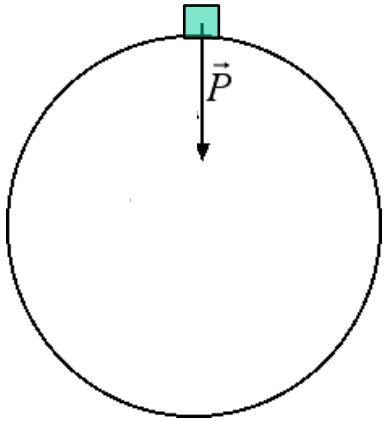






Importante: due o più forze possono essere sommate vettorialmente tra loro solo ed esclusivamente se agiscono sullo stesso corpo. Dunque le coppie di forze azione-reazione non possono essere sommate (altrimenti si annullerebbero sempre!)

La forza di Gravità e il Peso



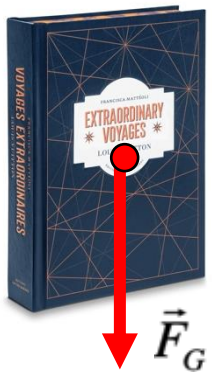
Applicando la **seconda legge di Newton** ad un oggetto di massa **m** soggetto **all'accelerazione di gravità *g*** avremo:

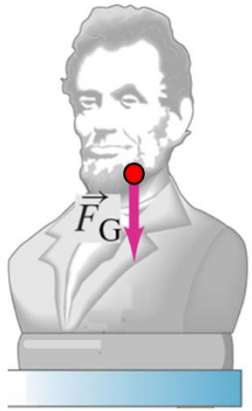
$$\vec{F}_G = m\vec{g}$$

che è appunto l'espressione della **forza di gravità**, rappresentata da un **vettore applicato all'oggetto e diretto verso il centro della Terra**. Il modulo di questa forza è quello che comunemente chiamiamo **peso** dell'oggetto, tant'è che la forza di gravità viene chiamata anche **forza peso**, espressa in Newton e e indicata con:

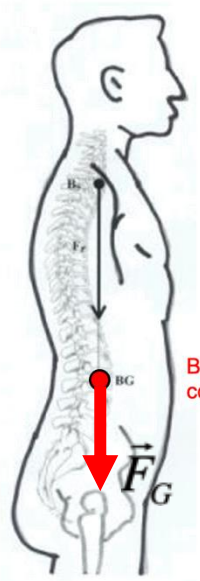
$$\vec{P} = m\vec{g}$$

Abbiamo visto che il **punto di applicazione della forza peso** per un corpo rigido si chiama **baricentro**. Tipicamente, il baricentro coincide con il centro geometrico del corpo, il che vale anche per il corpo umano, il cui baricentro si trova più o meno all'altezza dell'ombelico.





Baricentro di un corpo rigido

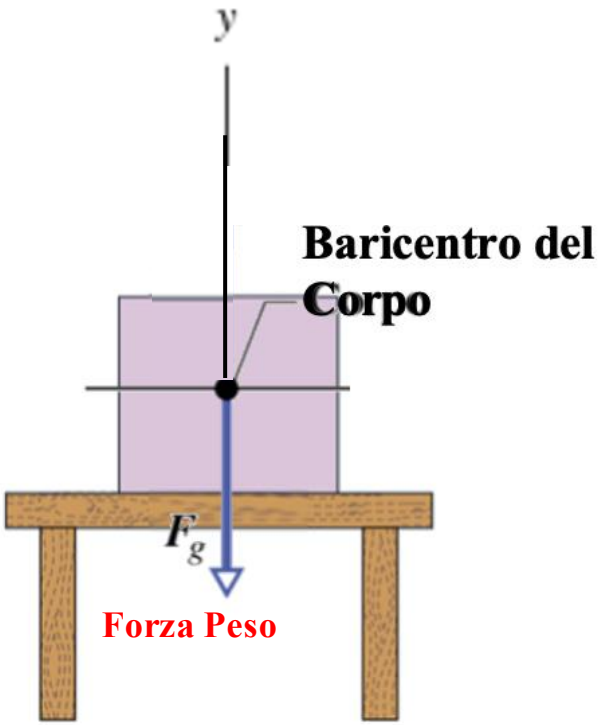


Baricentro del corpo umano

Postura ideale

Forza Peso e Forza Normale

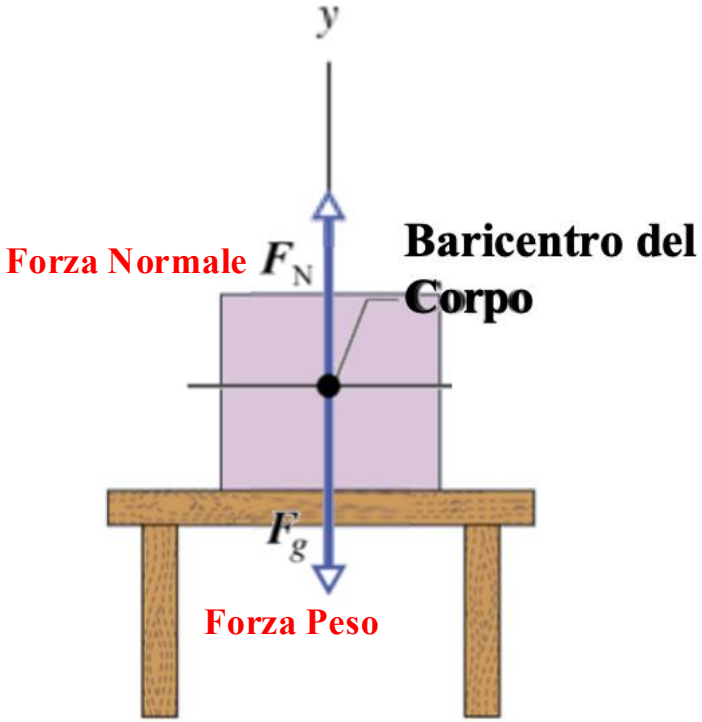
Ovviamente quando un oggetto è **fermo** in prossimità della superficie della Terra, come ad esempio una scatola poggiata su un tavolo, la forza peso non scompare: se dunque l'oggetto non si muove, per la seconda legge di Newton deve evidentemente esistere un'altra forza agente sull'oggetto, opposta alla forza peso, tale da **bilanciare** quest'ultima ed annullare così la forza risultante.



Forza Peso e Forza Normale

Ovviamente quando un oggetto è **fermo** in prossimità della superficie della Terra, come ad esempio una scatola poggiata su un tavolo, la forza peso non scompare: se dunque l'oggetto non si muove, per la seconda legge di Newton deve evidentemente esistere un'altra forza agente sull'oggetto, opposta alla forza peso, tale da **bilanciare** quest'ultima ed annullare così la forza risultante.

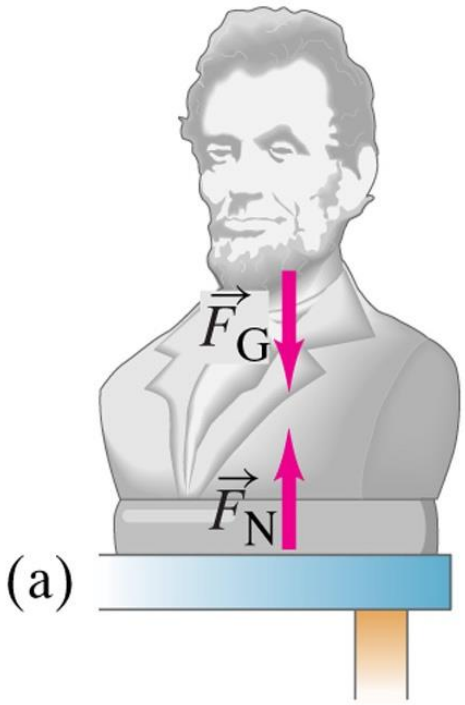
Questa forza è la cosiddetta **forza di contatto,** o **reazione vincolare**, esercitata sull'oggetto dalla superficie su cui è appoggiato e che, se l'oggetto è fermo, agisce sempre perpendicolarmente a tale superficie, per cui è anche chiamata **forza normale** $\vec{F}_N$. Essa è dovuta essenzialmente all'**elasticità** del materiale di cui è costituita la superficie.



Forza peso e forza normale sono sempre applicate allo stesso oggetto, quindi si possono sommare vettorialmente e, se sono uguali ed opposte, si possono annullare!

Forza Peso e Forza Normale

Poiché la forza peso e la forza normale **agiscono entrambe sullo stesso oggetto**, esse evidentemente **NON** costituiscono una coppia di forze uguali ed opposte derivanti dal principio di azione-reazione, che agiscono invece sempre su oggetti diversi…

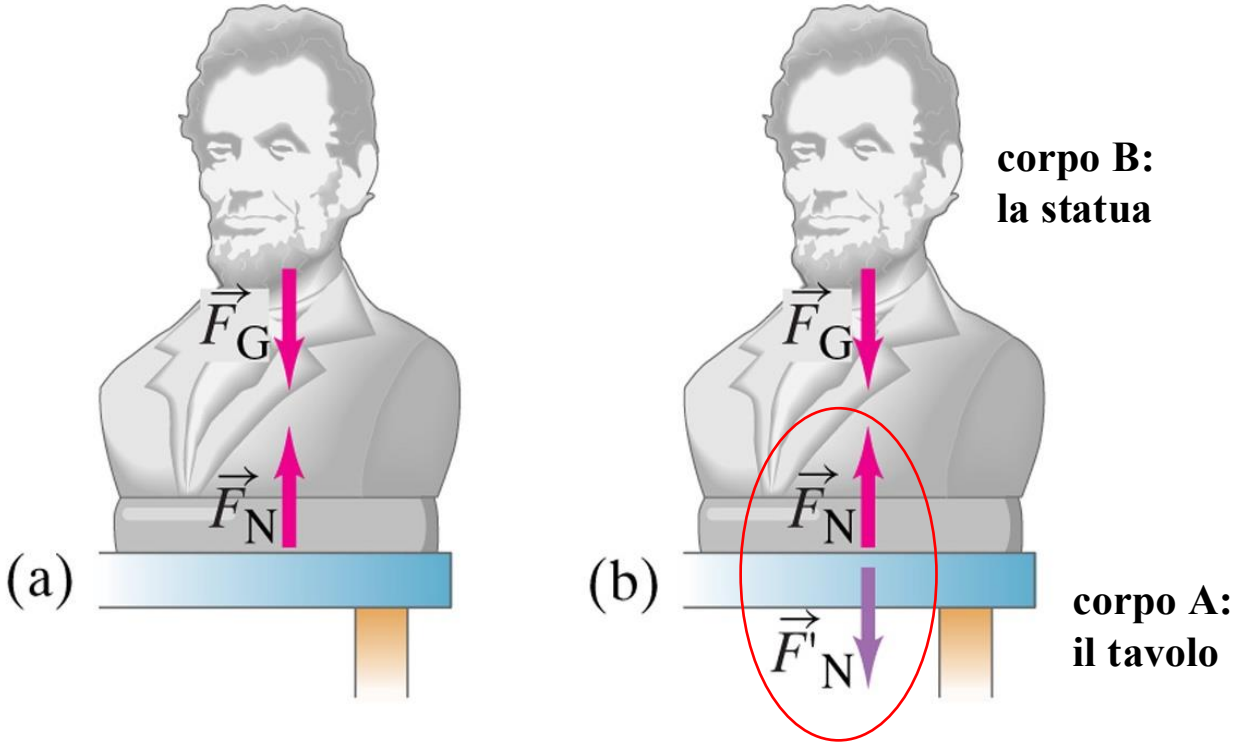


Sapreste dire quale è e dove è, in questo esempio, la forza di reazione, per il terzo principio, della forza normale?

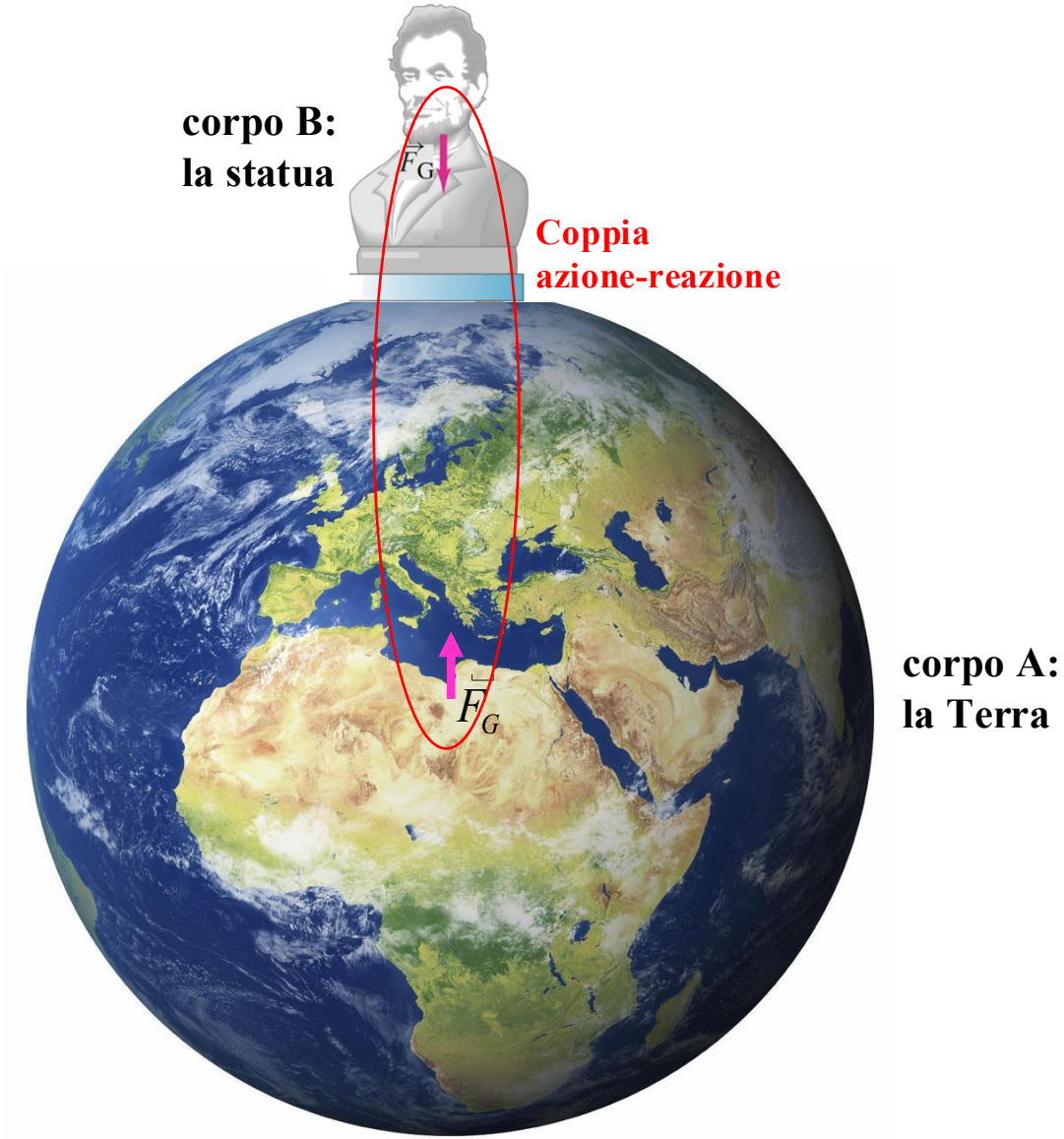
Forza Peso e Forza Normale

Poiché la forza peso e la forza normale **agiscono entrambe sullo stesso oggetto**, esse evidentemente **NON** costituiscono una coppia di forze uguali ed opposte derivanti dal principio di azione-reazione, che agiscono invece sempre su oggetti diversi. Se consideriamo ad esempio una statua su un tavolo, vediamo infatti che la **forza normale** $\vec{F}_N$ esercitata *dal tavolo sulla statua* produce una *forza di reazione* ($\vec{F}'_N$) esercitata *dalla statua sul tavolo*, in accordo alla terza legge di Newton. **E' questa seconda forza, non la forza peso, che, se troppo elevata, può rompere il tavolo!**

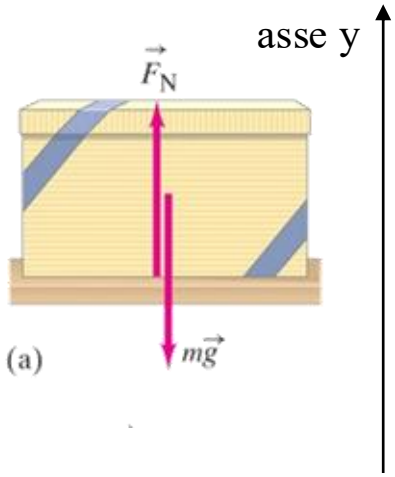
Ma allora anche la **forza peso** $\vec{F}_G$ deve avere una sua *forza di reazione.* In questo caso però è più difficile da individuare... voi ci riuscite?



…ovviamente si trova al centro della Terra!



Esercizio
E' Natale e vi hanno fatto dono di una **scatola** di massa m=10.0kg contenente una misteriosa sorpresa. La scatola è ferma sulla superficie orizzontale di un tavolo.
(a) **Determinare il peso della scatola e la forza normale esercitata su di essa dal tavolo;**



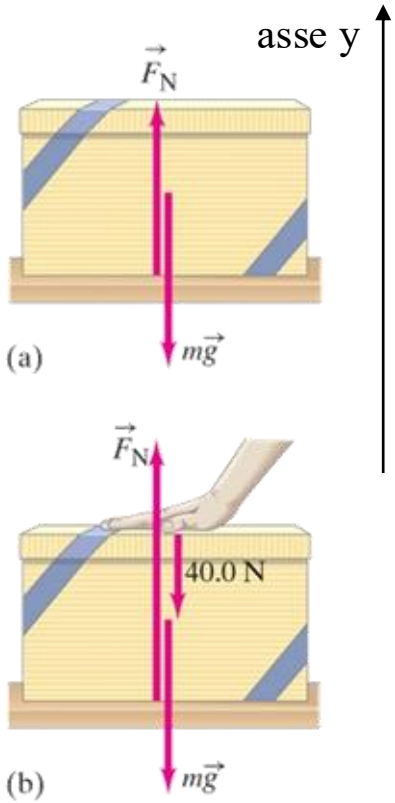
(a) La scatola è ferma, quindi la forza risultante agente su di essa deve essere nulla per la seconda legge di Newton. Le uniche due forze agenti sulla scatola sono la **forza peso**, di intensità mg e diretta verso il basso, e la **forza normale** F_N esercitata dal tavolo e diretta verso l'alto (nel verso delle y positive).

Imponendo che la forza risultante debba essere nulla (problema di **statica**), possiamo quindi ricavare l'intensità della forza normale:

$$\sum_i F_{yi} = F_N - mg = 0 \quad \Rightarrow \quad F_N = mg = (10.0kg)(9.80m/s^2) = 98.0N$$

che è appunto diretta verso l'alto e di modulo uguale al peso della scatola. Si noti che bisogna sempre ricordarsi di **anteporre il segno meno** alle componenti delle forze dirette nel verso opposto a quello positivo degli assi.

Esercizio
E' Natale e vi hanno fatto dono di una **scatola** di massa m=10.0kg contenente una misteriosa sorpresa. La scatola è ferma sulla superficie orizzontale di un tavolo.
(a) Determinare il peso della scatola e la forza normale esercitata su di essa dal tavolo;
(b) **Determinare la forza normale nel caso in cui qualcuno prema sulla scatola con una forza di 40.0N;**



(b) Se qualcuno preme sulla scatola, alla forza peso (sempre pari ad mg) e alla forza normale si aggiunge una **terza forza**, in questo caso di intensità 40.0N e diretta verso il basso (quindi a favore della forza peso). Poichè la scatola resta **ferma**, la forza risultante deve ancora essere nulla e dunque:

$$\sum_i F_{yi} = F_N - mg - 40.0N = 0$$

$$F_N = mg + 40.0N = 98.0N + 40.0N = 138.0N$$

che è **maggiore** di quella trovata nel caso precedente. Questo significa che, evidentemente, il tavolo respinge la scatola con più forza quando una persona spinge sulla scatola verso il basso, e ci dice anche che **la forza normale non è sempre uguale al peso** (ad ulteriore prova che forza normale e forza peso non sono legate dal principio di azione-reazione)

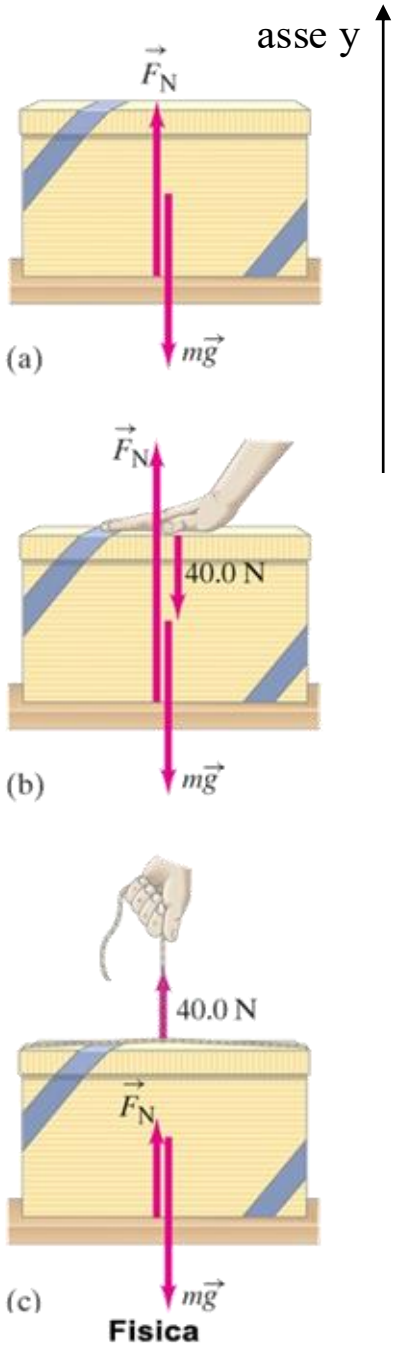
Esercizio

E' Natale e vi hanno fatto dono di una **scatola** di massa m=10.0kg contenente una misteriosa sorpresa. La scatola è ferma sulla superficie orizzontale di un tavolo.

(a) Determinare il peso della scatola e la forza normale esercitata su di essa dal tavolo;

(b) Determinare la forza normale nel caso in cui qualcuno prema sulla scatola con una forza di 40.0N;

(c) **Determinare la forza normale se qualcuno tira invece verso l'alto la scatola con una forza di 40.0N.**



(c) Se qualcuno tira invece la scatola verso l'alto con una forza di 40.0N, tale forza andrà stavolta a **contrastare** la forza peso (che è sempre pari ad mg), ma essendo ad essa inferiore in intensità la scatola resterà ancora una volta **ferma**. Per la seconda legge di Newton la forza risultante dovrà quindi ancora essere nulla e avremo:

$$\sum_i F_{yi} = F_N - mg + 40.0N = 0$$

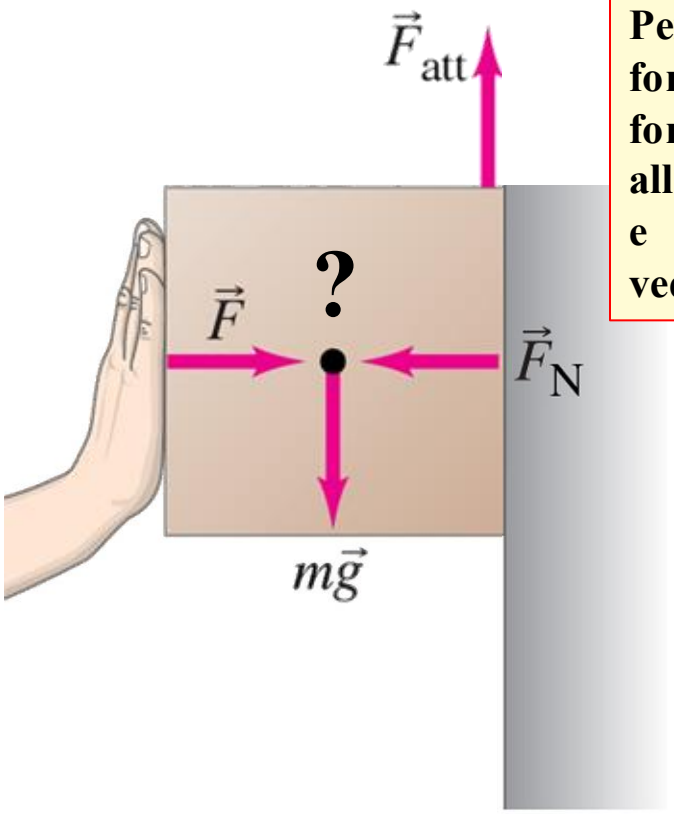
$$F_N = mg - 40.0N = 98.0N - 40.0N = 58.0N$$

Osserviamo dunque che il tavolo non esercita sulla scatola una forza normale pari al suo peso, e questo appunto a causa della trazione verso l'alto.

Fisica
Copyright 2006 Casa Editrice Ambrosiana

Quesito

Sappiamo che è possibile impedire ad una **scatola** di cadere verso il basso spingendola, ad esempio, contro un **muro.** Ci si potrebbe chiedere: come fa l'applicazione di una forza **orizzontale** a impedire ad un oggetto di muoversi **verticalmente**?

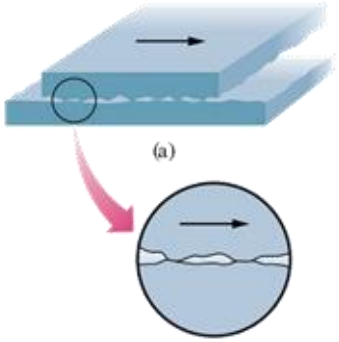


Fisica
Copyright 2006 Casa Editrice Ambrosiana

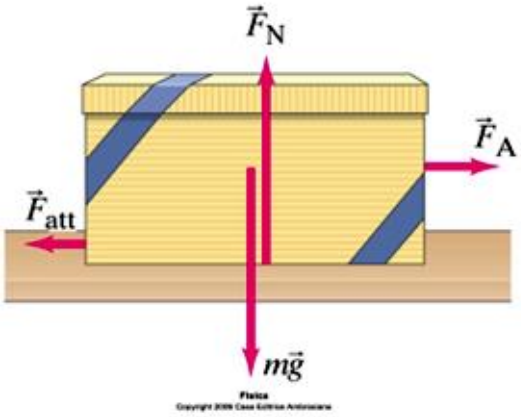
Perché essa, attraverso la forza Normale produce una forza di Attrito, parallela alla superficie di appoggio e diretta verso l'alto… vediamo come si ricava…

L'Attrito Dinamico

Finora, negli esempi riguardanti la forza normale abbiamo sempre supposto che le superfici di appoggio fossero «lisce». Ma nella realtà, a livello **microscopico**, su qualunque superficie sono sempre presenti delle rugosità o protuberanze che si oppongono al moto di oggetti che vengano spostati su di esse dando luogo a delle **forze di attrito**. In questo caso si parla di **attrito dinamico** o cinetico, che si dirà **radente** se il corpo scivola, **volvente** se il corpo ruota. Noi ci occuperemo principalmente di corpi che scivolano.



L'attrito dinamico è una forza che agisce sempre con la stessa direzione ma verso **opposto a quello della velocità** dell'oggetto in moto su di esso (ad esempio trascinato da una forza applicata $\vec{F}_A$) e la sua intensità dipende dalla natura delle superfici che scivolano le une sulle altre a causa del moto. Per molti tipi di superficie, gli esperimenti mostrano che la forza di attrito è in buona approssimazione **proporzionale alla forza normale** che la superficie esercita sull'oggetto e in certi casi (superfici dure) dipende poco dall'area della superficie totale di contatto.

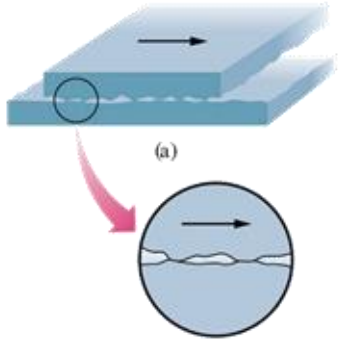


Adottando queste approssimazioni, un semplice modello delle forze di attrito ci permette di scrivere la seguente **relazione sperimentale scalare** tra il modulo F_{att} della forza di attrito, che agisce parallelamente alla superficie di contatto, e il modulo F_N della forza normale, che agisce invece perpendicolarmente alla superficie di contatto: $F_{att} = \mu_k F_N$

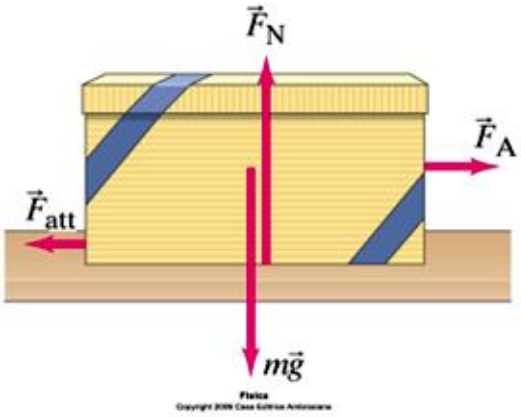
Il termine μ_k è il cosiddetto **coefficiente di attrito dinamico** e il suo valore dipende dalla natura delle superfici in contatto.

L'Attrito Dinamico

Finora, negli esempi riguardanti la forza normale abbiamo sempre supposto che le superfici di appoggio fossero «lisce». Ma nella realtà, a livello **microscopico**, su qualunque superficie sono sempre presenti delle rugosità o protuberanze che si oppongono al moto di oggetti che vengano spostati su di esse dando luogo a delle **forze di attrito**. In questo caso si parla di **attrito dinamico** o cinetico, che si dirà **radente** se il corpo scivola, **volvente** se il corpo ruota. Noi ci occuperemo principalmente di corpi che scivolano.



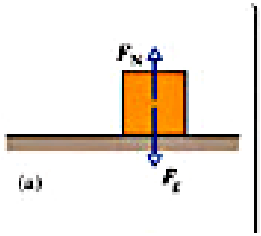
L'attrito dinamico è una forza che agisce sempre con la stessa direzione ma verso **opposto a quello della velocità** dell'oggetto in moto su di esso (ad esempio trascinato da una forza applicata $\vec{F}_A$) e la sua intensità dipende dalla natura delle superfici che scivolano le une sulle altre a causa del moto. Per molti tipi di superficie, gli esperimenti mostrano che la forza di attrito è in buona approssimazione **proporzionale alla forza normale** che la superficie esercita sull'oggetto e in certi casi (superfici dure) dipende poco dall'area della superficie totale di contatto.



Adottando queste approssimazioni, un semplice modello delle forze di attrito ci permette di scrivere la seguente **relazione sperimentale scalare** tra il modulo F_{att} della forza di attrito, che agisce parallelamente alla superficie di contatto, e il modulo F_N della forza normale, che agisce invece perpendicolarmente alla superficie di contatto: $F_{att} = \mu_k F_N$

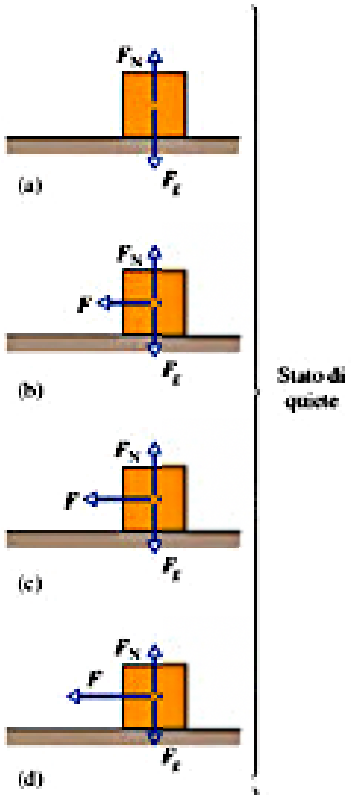
A prescindere da come vengono disegnate, queste 4 forze dovrebbero essere sempre tutte applicate nel baricentro del corpo!

L'Attrito Statico: esperimento



Immaginiamo di avere una **cassa** appoggiata sul pavimento e in stato di **quiete** (a), soggetta dunque solo alla forza di gravità e a quella normale.

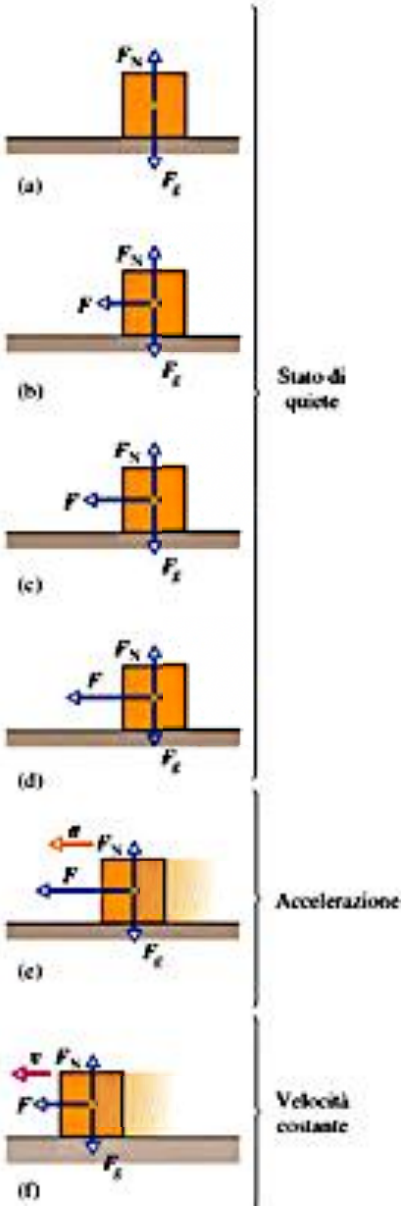
L'Attrito Statico: esperimento



Immaginiamo di avere una **cassa** appoggiata sul pavimento e in stato di **quiete** (a), soggetta dunque solo alla forza di gravità e a quella normale.

Se a questo punto cominciamo ad applicarle una **forza di intensità F** diretta verso **sinistra** (b), inizialmente piccola ma crescente, notiamo che la cassa non si muoverà (c,d) finché la forza applicata non supererà una certa **soglia critica**.

L'Attrito Statico: esperimento

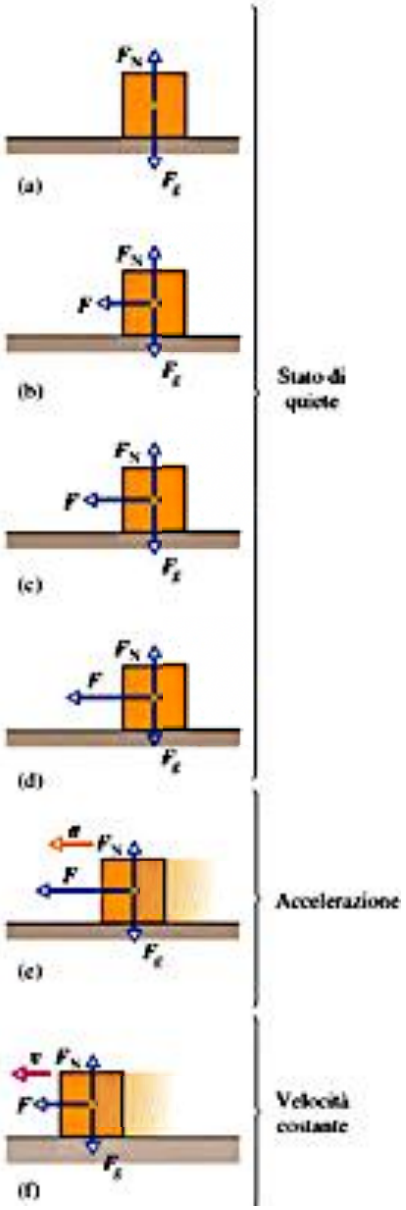


Immaginiamo di avere una **cassa** appoggiata sul pavimento e in stato di **quiete** (a), soggetta dunque solo alla forza di gravità e a quella normale.

Se a questo punto cominciamo ad applicarle una **forza di intensità F** diretta verso **sinistra** (b), inizialmente piccola ma crescente, notiamo che la cassa non si muoverà (c,d) finché la forza applicata non supererà una certa **soglia critica**.

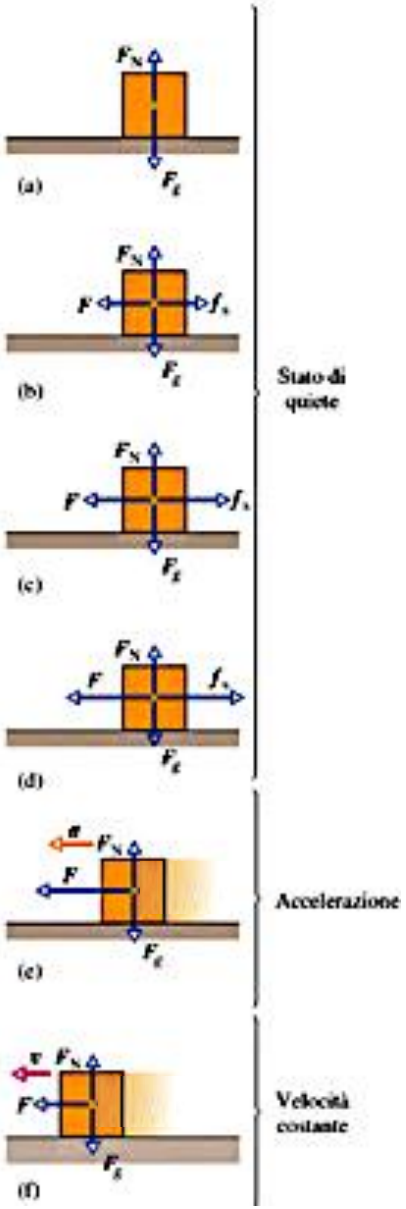
Superata questa soglia (e) la cassa comincerà a muoversi **accelerando** e se vogliamo che essa proceda a **velocità costante** occorrerà diminuire l'intensità della forza applicata, assestandola su un valore finale minore di quello di soglia.

L'Attrito Statico: spiegazione



Come spiegare questo comportamento in termini di forze d'attrito?

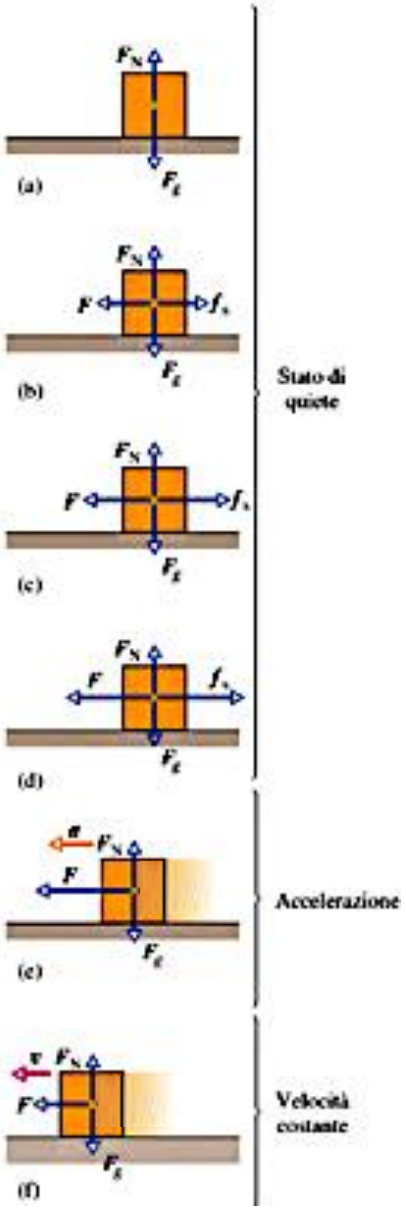
L'Attrito Statico: spiegazione



Come spiegare questo comportamento in termini di forze d'attrito?

Per spiegare il comportamento della cassa dalla figura (a) alla (d), cioè mentre essa resta in quiete pur essendo sottoposta alla forza F, bisogna evidentemente supporre che esista **una forza di attrito distinta da quella di attrito dinamico** (legato esclusivamente al movimento) che si oppone al tentativo di spostare la cassa e **che cresce al crescere della forza applicata**.

L'Attrito Statico: spiegazione



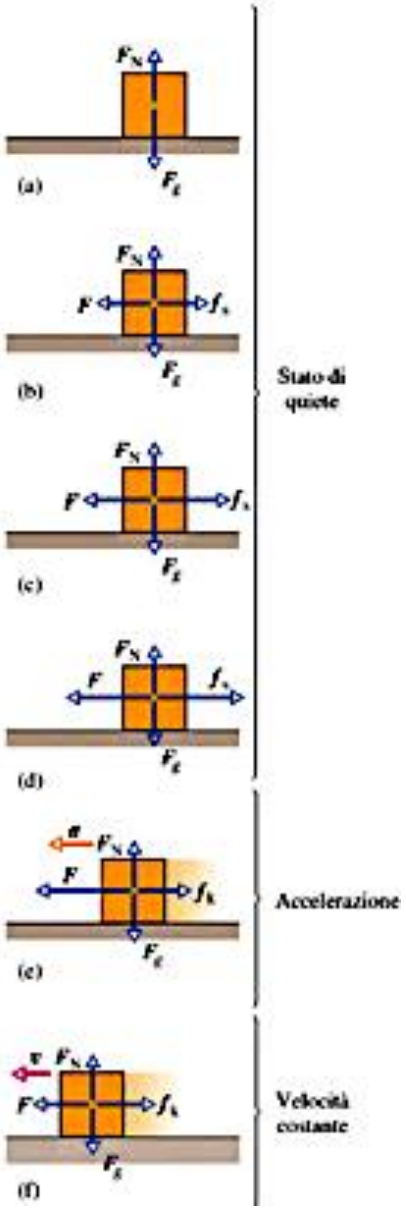
Come spiegare questo comportamento in termini di forze d'attrito?

Per spiegare il comportamento della cassa dalla figura (a) alla (d), cioè mentre essa resta in quiete pur essendo sottoposta alla forza *F*, bisogna evidentemente supporre che esista **una forza di attrito distinta da quella di attrito dinamico** (legato esclusivamente al movimento) che si oppone al tentativo di spostare la cassa e **che cresce al crescere della forza applicata**.

In effetti questo tipo di attrito esiste davvero e viene chiamato **attrito statico**: tale attrito cresce appunto con la forza applicata da (a) a (d) e il modulo del suo valore massimo, un istante prima che la cassa inizi ad accelerare (e), risulta essere anch'esso proporzionale alla forza normale: $F_{att}(\max) = \mu_s F_N$

Il termine μ_s è il **coefficiente di attrito statico,** il cui valore dipende, come accadeva anche per l'attrito dinamico, dalla natura delle superfici in contatto.

L'Attrito Statico: spiegazione



Come spiegare questo comportamento in termini di forze d'attrito?

Per spiegare il comportamento della cassa dalla figura (a) alla (d), cioè mentre essa resta in quiete pur essendo sottoposta alla forza F, bisogna evidentemente supporre che esista **una forza di attrito distinta da quella di attrito dinamico** (legato esclusivamente al movimento) che si oppone al tentativo di spostare la cassa e **che cresce al crescere della forza applicata**.

In effetti questo tipo di attrito esiste davvero e viene chiamato **attrito statico**: tale attrito cresce appunto con la forza applicata da (a) a (d) e il modulo del suo valore massimo, un istante prima che la cassa inizi ad accelerare (e), risulta essere anch'esso proporzionale alla forza normale: $F_{att}(\max) = \mu_s F_N$

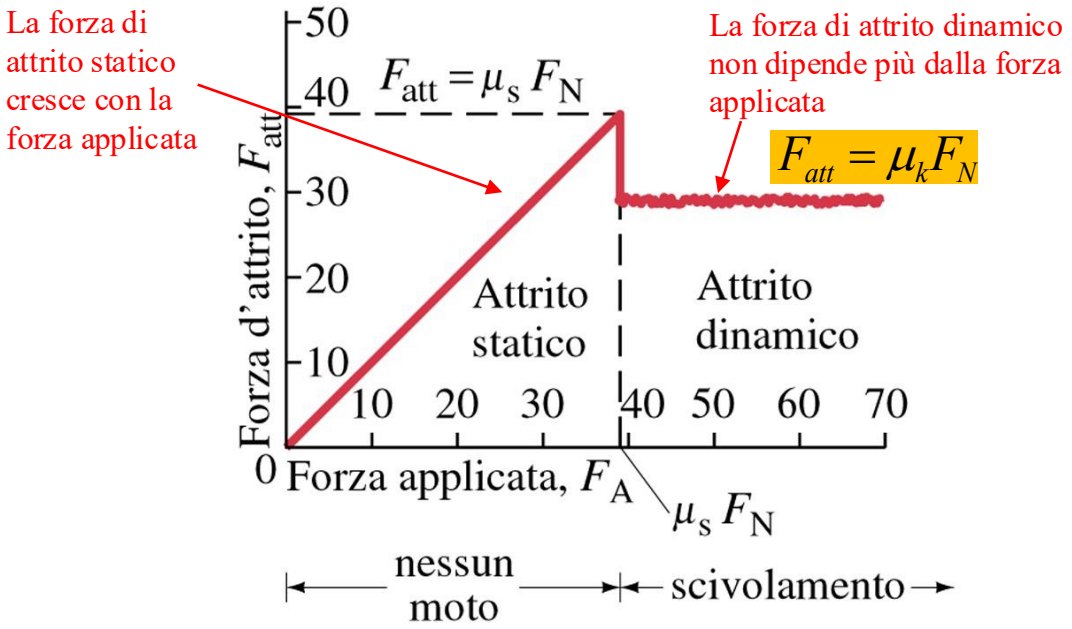
Il termine μ_s è il **coefficiente di attrito statico,** il cui valore dipende, come accadeva anche per l'attrito dinamico, dalla natura delle superfici in contatto.

Una volta che la cassa è in movimento (e), l'attrito statico lascia il posto **all'attrito dinamico**, che abbiamo già descritto in precedenza, e quando la forza applicata verso sinistra uguaglia in modulo la forza di attrito dinamico (f), la cassa procederà a velocità costante (se il moto è anche **rettilineo**, si muoverà dunque per **inerzia**).

Attrito Statico e Dinamico

Poichè la forza di **attrito statico** può variare da zero al suo valore massimo, possiamo quindi scrivere:

$$F_{att} \leq \mu_s F_N$$



L'esperienza e il grafico quì sopra mostrano che il coefficiente di attrito (**radente**) statico μ_s è generalmente **maggiore** di quello di attrito dinamico μ_k, come si vede anche dalla **tabella** quì a fianco. L'attrito **volvente**, sia statico che dinamico, è sempre molto minore di quello radente – con coefficienti dell'ordine di 10^{-2}-10^{-3}.

Alcuni valori del coefficiente di attrito radente.[1]

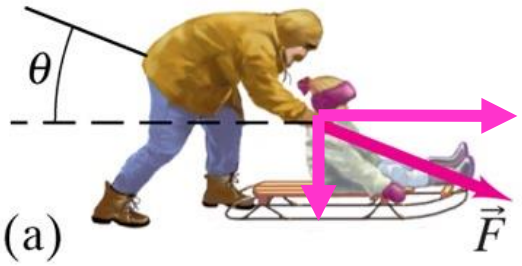
Superfici	μ_{rs} (statico)	μ_{rd} (dinamico)
Legno - legno	0,50	0,30
Acciaio - acciaio	0,78	0,42
Acciaio - acciaio lubrificato	0,11	0,05
Acciaio - alluminio	0,61	0,47
Acciaio - ottone	0,51	0,44
Acciaio - teflon	0,04	0,04
Acciaio - ghiaccio	0,027	0,014
Acciaio - aria	0,001	0,001
Acciaio - piombo	0,90	n.d.
Acciaio - ghisa	0,40	n.d.
Acciaio - grafite	0,10	n.d.
Acciaio - plexiglas	0,80	n.d.
Acciaio - polistirene	0,50	n.d.
Rame - acciaio	1,05	0,29
Rame - vetro	0,68	0,53
Gomma - asfalto (asciutto)	1,0	0,8
Gomma - asfalto (bagnato)	0,7	0,6
Vetro - vetro	0,9 - 1,0	0,4
Legno sciolinato - neve	0,10	0,05

YouTube IT https://www.youtube.com/watch?v=qSHjdZvjblI

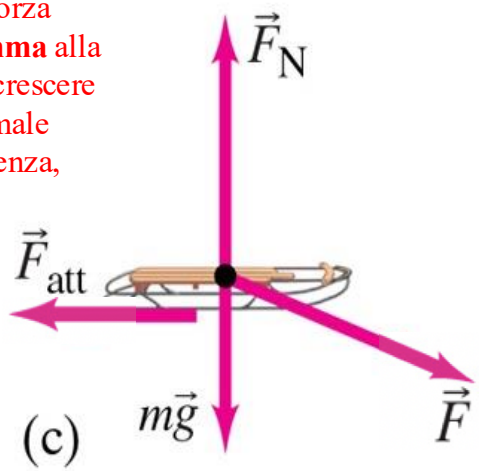


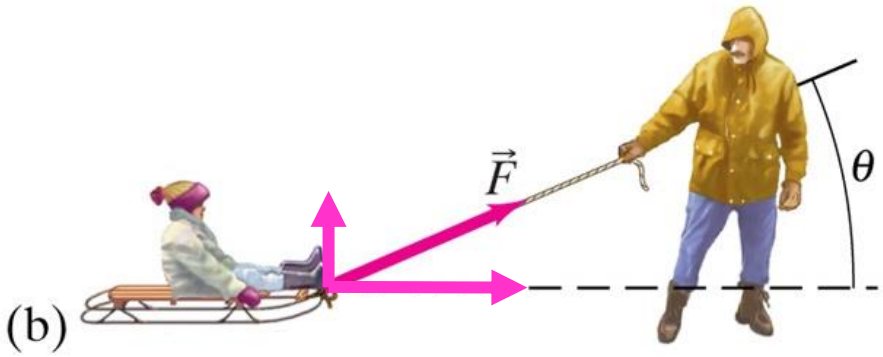
Quesito 1

La vostra sorellina vuole andare sulla **slitta**. Supponendo di essere su un terreno piatto, vi servirà una forza minore per **spingere (a)** o per **tirare (b)** la slitta (assumendo in entrambi i casi lo stesso angolo di traino)?

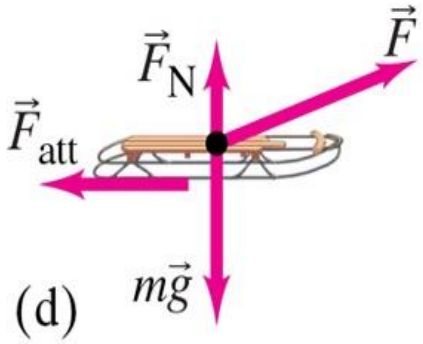


Qui la componente verticale della forza applicata si **somma** alla forza peso e fa crescere sia la forza normale che, di conseguenza, quella di attrito





Qui la componente verticale della forza applicata si **sottrae** alla forza peso e fa diminuire sia la forza normale che, di conseguenza, quella di attrito



Quesito 2

Adesso abbiamo ulteriori elementi anche per poter rispondere con più precisione a un quesito che ci eravamo già posti in precedenza: se quando camminiamo i nostri piedi spingono **indietro** il terreno, qual è la forza che ci spinge in **avanti** consentendoci di muoverci?

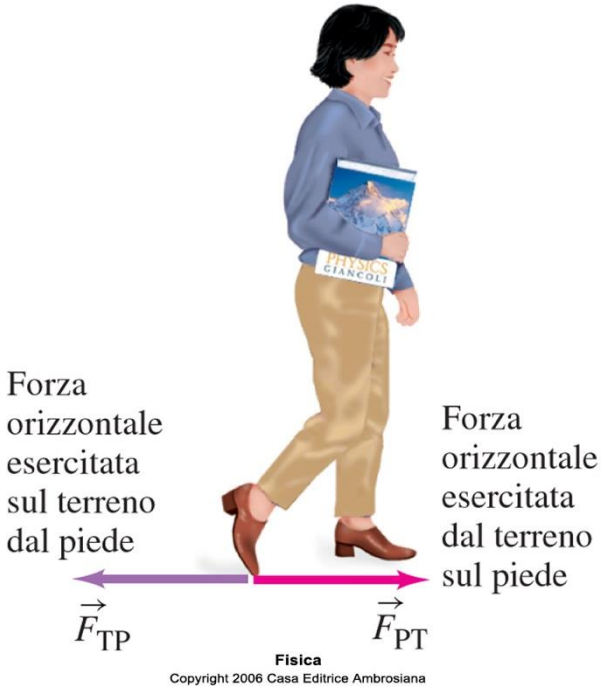


Quesito 2

Adesso abbiamo ulteriori elementi anche per poter rispondere con più precisione a un quesito che ci eravamo già posti in precedenza: se quando camminiamo i nostri piedi spingono **indietro** il terreno, qual è la forza che ci spinge in **avanti** consentendoci di muoverci?

Avevamo già svelato che si trattava della **forza di reazione** esercitata, per il terzo principio della dinamica, dal terreno sul piede.





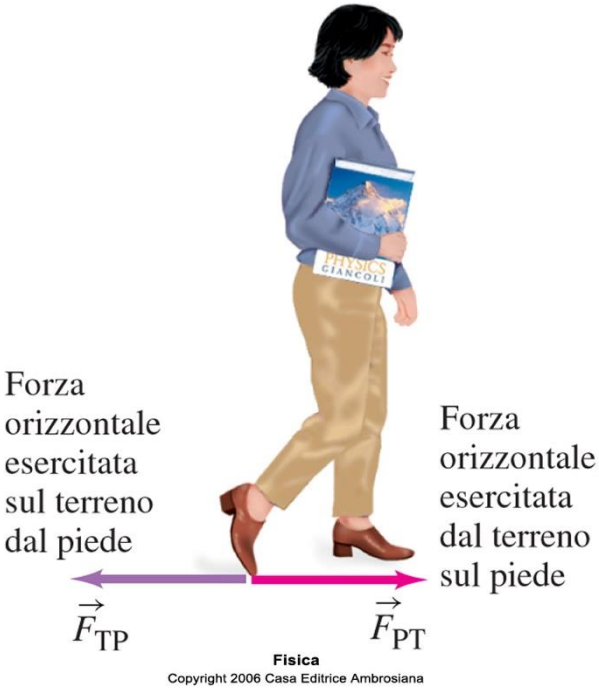
Quesito 2

Adesso abbiamo ulteriori elementi anche per poter rispondere con più precisione a un quesito che ci eravamo già posti in precedenza: se quando camminiamo i nostri piedi spingono **indietro** il terreno, qual è la forza che ci spinge in **avanti** consentendoci di muoverci?

Avevamo già svelato che si trattava della **forza di reazione** esercitata, per il terzo principio della dinamica, dal terreno sul piede.

Ma se la forza esercitata dal piede sul terreno è chiaramente generata dai nostri muscoli, **cosa genera la forza esercitata dal terreno sul piede**?







Quesito 2

Adesso abbiamo ulteriori elementi anche per poter rispondere con più precisione a un quesito che ci eravamo già posti in precedenza: se quando camminiamo i nostri piedi spingono **indietro** il terreno, qual è la forza che ci spinge in **avanti** consentendoci di muoverci?

Avevamo già svelato che si trattava della **forza di reazione** esercitata, per il terzo principio della dinamica, dal terreno sul piede.

Ma se la forza esercitata dal piede sul terreno è chiaramente generata dai nostri muscoli, **cosa genera la forza esercitata dal terreno sul piede**?

La risposta è: **l'attrito statico**! Dunque, mentre l'attrito dinamico è una forza rappresentata da un vettore che ha sempre verso opposto a quello della velocità, e dunque si oppone sempre al movimento, l'attrito statico può anche avere lo stesso verso della velocità e in questo caso non solo **non si oppone al movimento ma addirittura lo rende possibile**!



